

Perencanaan Tipikal Unit Pengolahan Skala Kecil Lumpur Ipal Domestik Kabupaten Gresik

Hilma Ayu Khansa, dan Welly Herumurti

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: Herumurti@enviro.its.ac.id

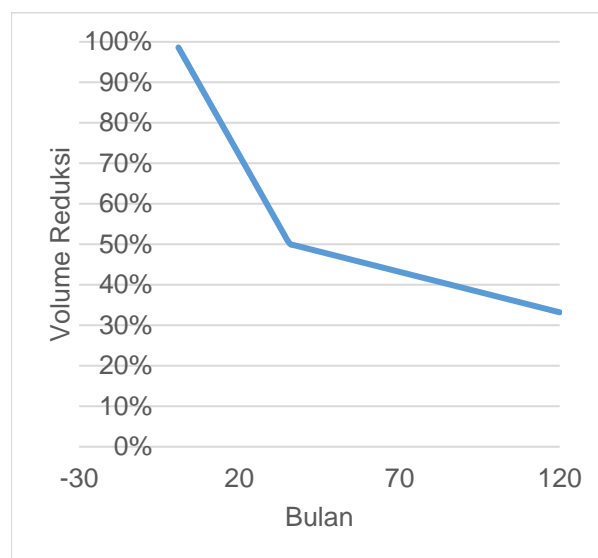
Abstrak—Lumpur IPALD-T memiliki kadar air yang tinggi serta kontaminan yang dapat mencemari lingkungan. Beberapa IPALD-T di Kabupaten Gresik memiliki kendala pengurasan yang tidak teratur karena IPALD-T yang tidak dapat dilewati oleh truk tinja dan jauh dari IPLT. Pengurasan yang tidak teratur menyebabkan penurunan kemampuan penyisihan kontaminan pada IPALD-T. Sehingga, diperlukan adanya pengolahan lumpur skala kecil di sekitar lokasi IPALD-T. Tujuan tugas akhir ini adalah menentukan kriteria desain unit *dewatering* berdasarkan studi literatur dan melakukan perencanaan pengolahan lumpur skala kecil. Tugas akhir ini menghasilkan kriteria desain unit *dewatering* dengan ketinggian lumpur berkisar 20-50 cm, ketinggian media filter geotekstil non woven 1-6 cm dengan jenis PET (*Polietelena Tereftalat*) dan PP (*Polypropylene*) (continuous filament dan Staple fibre dengan berat 150-500 GSM), ketinggian Media filter pasir diameter 0,2-0,6 setinggi 20-30 cm, dan kerikil penyangga diameter 2-3 cm setinggi 20-30 cm. Hasil perencanaan unit *dewatering* yang telah dilakukan menghasilkan unit dengan kapasitas 0,335 m³ dengan lumpur setinggi 40 cm, geotekstil non-woven setinggi 6 cm, pasir berdiameter 0,2-0,6 mm setinggi 20 cm, kerikil penyangga berdiameter 2-3 cm setinggi 20 cm, dan geotekstil non-woven 1 cm. Unit *dewatering* ini direncanakan menggunakan tandon dengan diameter 103,2 cm dan ketinggian tandon 100 cm, serta dilengkapi dengan bak penampung filtrat.

Kata Kunci—*Dewatering*, Geotekstil Non Woven, Instalasi pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD-T), Pengelolaan Lumpur, dan Pasir.

I. PENDAHULUAN

FAKTOR utama pemeliharaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah pengurasan lumpur. Frekuensi pengurasan lumpur IPAL adalah dua hingga tiga tahun sekali [10]. Tetapi, pengurasan lumpur di tangki septik dan IPAL Komunal terjadi beberapa kendala yaitu akses jalan yang tidak dapat dilalui oleh truk tinja sehingga menyebabkan pengurasan lumpur yang tidak teratur. Pengurasan lumpur yang tidak teratur menyebabkan endapan lumpur terbawa menuju outlet yang menyebabkan effluent air limbah dapat mencemari lingkungan. Sehingga, perlunya penambahan kendaraan penguras lumpur yaitu motor tinja untuk melayani IPAL Komunal yang memiliki kendala akses [1], [2].

Kadar air lumpur ABR cukup tinggi yaitu 88% [3]. Selain itu, lumpur air limbah akan menyebabkan masalah lingkungan apabila tanpa stabilisasi karena adanya kandungan organik sintetik, logam berat, dan zat organik. Volume dan karakteristik lumpur yang belum stabil menyebabkan perlunya pengolahan lumpur di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Pengurasan lumpur pada



Gambar 1. Grafik Presentase Volume Lumpur.

IPAL yang hanya dapat dilewati oleh motor tinja menyebabkan volume lumpur yang dapat diangkut semakin sedikit sehingga memperbesar nilai ritasi pengangkutan. Selain itu, jarak IPAL menuju IPLT yang jauh dan jumlah ritasi pada pengangkutan lumpur yang banyak menyebabkan biaya yang besar. Sehingga, solusi untuk IPAL yang tidak dapat dilewati oleh truk dan jauh dari IPLT adalah pengolahan lumpur skala kecil.

Proses *dewatering* merupakan proses penghilangan kandungan air sehingga lumpur dapat diangkut ke tempat pembuangan akhir. Salah satu manfaat proses *dewatering* adalah mengurangi volume dan biaya pengangkutan. Hal yang dipertimbangkan dalam pemilihan unit *dewatering* skala kecil adalah mudah dalam operasi dan perawatan oleh masyarakat sekitar. Proses *dewatering* yang mudah dalam operasi dan perawatan adalah proses yang menggunakan sinar matahari [4]. Jenis media filter yang sering digunakan adalah pasir dan kerikil. Media filter dengan pasir mengakibatkan penyumbatan dikarenakan media terbawa oleh effluent atau filtrat. Selain itu, pada proses pengurasan unit filtrasi pasir akan dibersihkan menggunakan metode *scrapping* yang menyebabkan pasir terkeruk 1-2 cm [5], [6]. Hal tersebut menyebabkan penyisihan pada unit *dewatering* semakin tidak efektif. Penambahan geotekstil non woven dapat mencegah terbawanya padatan lumpur dan pasir yang akan menyebabkan penyumbatan (*clogging*).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka disusunlah kajian tentang kriteria desain unit *dewatering*. Selain itu, merencanakan unit *dewatering* skala kecil.

Tabel 1.
Kriteria Unit Solid Separator Chamber

Parameter	Satuan	Nilai
Ketebalan cake	Cm	10-30
Ketebalan pasir	Cm	20-30
Ketebalan kerikil	Cm	20-30

Tabel 2.
Kriteria Unit Solid Separator Chamber Modifikasi

Parameter	Satuan	Nilai
Ketebalan lumpur	Cm	20-50
Ketebalan media filter geotekstil non-woven	Cm	1-6
Jenis geotekstil non-woven		Geotekstil non woven PET (polietilena Tereftala) dan PP (Polypropylene) dengan jenis continuous filament dan staple fibre dengan berat 150-500 GSM
Ketebalan media filter pasir	cm	20-30
Diameter media filter pasir	mm	0,2-0,6
Ketebalan kerikil penyangga	cm	20-30
Diameter kerikil	cm	2-3

Tabel 3.
Koordinat IPALD-T Kabupaten Gresik

Nama IPAL	Lintang Selatan	Bujur Timur
Karangmas	7°11'16.6"S	112°39'47.1"E
Kauman Sehat	7°09'25.4"S	112°39'09.5"E
Tirta Agung 2	7°09'33.0"S	112°38'38.1"E
Grand Cep	7°09'18.2"S	112°39'05.1"E
Sehat Sentosa	7°09'18.2"S	112°39'05.2"E
Telaga Abadi	7°09'22.8"S	112°39'12.5"E
Higienis 2	7°09'03.3"S	112°38'33.7"E

II. METODE STUDI

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini adalah pengumpulan data yang diperoleh dari dinas dan literatur. Pengumpulan data diperoleh dari data instansi DPUTR Kabupaten Gresik dan beberapa literatur yang telah disimpulkan. Sumber literatur berasal dari jurnal nasional, jurnal internasional, buku, dan peraturan yang terkait dengan unit *dewatering*. Pembahasan pertama menjelaskan penentuan kriteria desain unit *dewatering* untuk lumpur IPALD-T. Pembahasan kedua menjelaskan tentang perencanaan skala kecil unit *dewatering* di Kabupaten Gresik. Pada tugas akhir ini akan dilakukan kajian unit *dewatering* menggunakan geotekstil non-woven dengan pendekatan menggunakan kemampuan kontaminan pada unit *slow sand filter*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kriteria Desain Dewatering Lumpur

Kriteria desain *dewatering* lumpur yang ditentukan adalah jenis media filter (ketebalan dan diameter), ketebalan lumpur, waktu pengeringan, dan konfigurasi unit *dewatering*. Batasan yang digunakan pada kriteria desain adalah penelitian yang menggunakan teknologi *Solid Separator Chamber* (SSC). Media filter yang digunakan pada studi literatur ini adalah pasir dan geotekstil non-woven. Tetapi, literatur tentang unit *dewatering* yang menggunakan geotekstil non-woven masih sangat sedikit sehingga menggunakan pendekatan dari teknologi *slow sand filter*. Kriteria desain yang dibuat akan

Tabel 4.
Jenis dan tahun Pembangunan IPAL

Nama IPAL	Jenis IPAL	Tahun Pembangunan
Karangmas	JSI	2013
Kauman Sehat	Mode	2014
Tirta Agung 2	Sanfab	2018
Grand Cep	JSI	2013
Sehat Sentosa	Mode	2013
Telaga Abadi	Sanfab	2012
Higienis 2	JSI	2014

Tabel 5.
Dimensi IPALD-T

Kapasitas SR	Sistem IPAL	Settler			ABR/ABF		
		P (m)	L (m)	H (m)	P (m)	L (m)	H (m)
50	Sanfab*	1,75	2,25	1,8	4,8	2,25	1,8
75	Sanfab*	2,5	2,25	1,8	4,8	2,25	1,8
100	Sanfab*	3,5	2,7	2	6,4	2,7	2
75	JSI	2,5	2,2	1,44	4,9	2,2	1,44
75	Mode	1,9	1,7	1,65	5,6	1,7	1,65

Keterangan:

*Masterplan Plan IPAL Kabupaten Gresik 2014

Tabel 6.
Kualitas air limbah

Nama IPAL	TSS (mg/L)		COD (mg/L)		BOD (mg/L)	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
Karangmas*	108	66**	181	54	96	28
Kauman Sehat	108	66**	181	54	96	28
Tirta Agung 2	108	66**	181	54	96	28
Grand Cep	108	66**	181	54	96	28
Sehat Sentosa	108	66**	181	54	96	28
Telaga Abadi*	172	124**	332	200**	178	106**
Higienis 2	108	66**	181	54	96	28
Makmur Jaya*	322	30	483	84	262	44**

Keterangan:

*Hasil analisis laboratorium

**Tidak memenuhi baku mutu

dibandingkan dengan kriteria desain unit SSC dari PermenPUPR Nomor 04/PRT/M/2017. Kriteria desain SSC berdasarkan Permen PUPR Nomor 04/PRT/M/2017 dapat dilihat pada Tabel 1.

Kriteria desain yang ada tidak terdapat ketebalan lumpur, dan diameter media filter. Ketebalan lumpur sangat penting untuk menentukan dimensi unit SSC. Sedangkan, diameter media filter digunakan untuk perhitungan finansial dan operational pada saat perencanaan unit SSC. Selain itu, diameter media filter digunakan untuk mengetahui kemampuan penyisihan kontaminan pada unit SSC. Sehingga, perlunya kajian lebih lanjut yang didapatkan dari beberapa penelitian. Kriteria desain SSC berdasarkan berbagai literatur dapat dilihat pada Tabel 2 [6]–[13].

B. Kondisi Eksisting Wilayah Studi Kasus

Terdapat 8 IPALD-T di Kabupaten Gresik yang dipilih. Lokasi IPAL dipilih berdasarkan lokasi IPALD-T yang tidak dapat dilewati oleh truk pengangkut lumpur dan IPALD-T yang jauh dari dari IPLT yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Terdapat empat sistem IPAL yang ada di Kabupaten Gresik yaitu Sanfab, Mode, Konvensional, dan JSI. Perbedaan dari sistem IPAL adalah memiliki teknologi pengolahan yang berbeda. Jenis dan tahun Pembangunan IPAL dapat dilihat pada Tabel 4.

Perbedaan sistem IPAL adalah teknologi IPAL. Teknologi IPAL untuk Sanfab adalah *Anaerobic Baffled reactor*, JSI adalah *Imhoff tank-Anaerobic Fluidized Bed Bio filter*, Konvensional adalah *Anaerobic Baffled reactor-Anaerobic Filter*, dan Mode adalah *Anaerobic filter* [14]. Perbedaan

Tabel 7.
Kualitas air limbah

Nama IPAL	SR terpasang	Debit air limbah (m ³ /hari)
Karangmas	77	20,056
Kauman Sehat	67	17,451
Tirta Agung 2	25	6,511
Grand Cep	67	17,451
Sehat Sentosa	51	13,284
Telaga Abadi	63	16,409
Higienis 2	61	15,888
Makmur Jaya	50	13,023

Tabel 8.
Persentase Penyisihan IPALD-T

Nama IPAL	Kompartemen	
	Settler	ABR/ABF
Karangmas	48,09%	80,46%
Kauman Sehat	48,09%	86,70%*
Tirta Agung 2	48,09%	80,46%
Grand Cep	48,09%	80,46%
Sehat Sentosa	48,09%	86,70%*
Telaga Abadi	40,21%	80,46%
Higienis 2	48,09%	80,46%
Makmur Jaya	53,54%	80,46%

Keterangan:

*ABF

sistem IPALD-T menyebabkan perbedaan dimensi pada IPALD-T. Dimensi IPALD-T tidak diperoleh dari KPP masing-masing IPAL sehingga menggunakan data IPALD-T Kabupaten Gresik dari literatur yang dapat dilihat pada Tabel 5 [14].

Selain dimensi IPAL, pada perencanaan unit dewatering diperlukan kualitas air limbah untuk menentukan volume lumpur. Hanya tiga IPALD-T yang diketahui kualitas air limbah pada IPALD-T. Sehingga dilakukan pendekatan dengan menggunakan persamaan jenis IPAL, tahun pembangunan, dan teknik pengurusan.

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa kedelapan IPAL tidak memenuhi baku mutu air limbah domestik berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomer 68 Tahun 2016. Pengurusan yang tidak rutin menyebabkan efisiensi ada IPAL menurun sehingga effluent pada IPAL tidak memenuhi baku mutu air limbah.

C. Perhitungan Produksi Lumpur

Pada perhitungan produksi lumpur diperlukan data debit air limbah. Debit air limbah yang menjadi acuan adalah debit dari IPALD-T Siwalan Wonokitri dengan Jumlah sambungan rumah (SR) 68 orang adalah 17,712 m³/hari [14]. Sehingga diperoleh debit air limbah influent setiap SR diperoleh 0,260 m³/hari. Debit air limbah setiap IPALD-T berdasarkan SR yang terpasang dapat dilihat pada Tabel 7.

Pada kedelapan IPALD-T yang dipilih tidak memenuhi bakumutu sehingga direncanakan penyisihan ideal berdasarkan beberapa kompartemen. Kedelapan IPALD-T memiliki sistem IPALD-T yang berbeda-beda. Teknologi yang digunakan dibedakan menjadi dua yaitu ABR dan ABF. Persen penyisihan diperoleh dari literatur. Untuk ABF dilakukan perhitungan persen penyisihan dengan jumlah kompartemen ABF pada IPALD-T Kabupaten Gresik adalah 8 kompartemen yang dapat dilihat pada Tabel 8 [14].

Berdasarkan data-data berikut dapat dilakukan perhitungan produksi lumpur pada kompartemen settler dan kompartemen ABR/ABF. Perhitungan produksi lumpur pada IPALD-T Karangmas sebagai berikut:

Tabel 9.
Produksi Lumpur Settler

Nama IPAL	Pxtss (Kg/hari)	Pxvss (Kg/hari)	Total lumpur (Kg/hari)	Debit Lumpur (m ³ /hari)
Karangmas	1,042	0,028	1,070	0,008
Kauman Sehat	0,906	0,024	0,931	0,007
Tirta Agung 2	0,338	0,009	0,347	0,003
Grand Cep	0,906	0,024	0,931	0,007
Sehat Sentosa	0,690	0,019	0,708	0,005
Telaga Abadi	1,135	0,042	1,177	0,009
Higienis 2	0,825	0,022	0,847	0,007
Makmur Jaya	2,245	0,049	2,294	0,018

Tabel 10.
Produksi Lumpur ABR/ABF

Nama IPAL	Pxtss (Kg/hari)	Pxvss (Kg/hari)	Total lumpur (Kg/hari)	Debit Lumpur (m ³ /hari)
Karangmas	0,905	0,063	0,968	0,007
Kauman Sehat	0,848	0,062	0,910	0,007
Tirta Agung 2	0,294	0,021	0,314	0,002
Grand Cep	0,787	0,055	0,842	0,006
Sehat Sentosa	0,646	0,047	0,693	0,005
Telaga Abadi	1,358	0,095	1,453	0,011
Higienis 2	0,717	0,050	0,767	0,006
Makmur Jaya	1,568	0,110	1,677	0,013

Diketahui:

- Q air limbah = 20056,235 L/hari
- % kadar air = 88%
- Sg solid = 2,65
- SRT ABR = 14 hari [14]
- Y COD Anaerobik = 0,06 g VSS / g COD [15]
- Sg air = 1
- P air = 1000 Kg/m³
- b = 0,1 g VSS / g VSS.hari [15]

Perhitungan =

- $P_{xvss} = \frac{Q \times Y \times COD_{Underflow}}{1 + (b \times SRT)}$

$$= \frac{20056,235 \frac{L}{hari} \times 0,06 \times 47,513}{(1 + (0,1 \times 14 \text{ hari})) \times 1000000}$$

$$= 0,024 \text{ Kg/hari} / 0,85$$

$$= 0,028 \text{ Kg/hari}$$
- $P_{xtss} = Q \times TSS_{underflow}$

$$= (20056,235 \text{ L/hari} \times 51,935) \times 10^{-6}$$

$$= 1,042 \text{ Kg/hari}$$
- massa lumpur = $P_{xvss} + P_{xtss}$

$$= 0,028 \text{ Kg/hari} + 1,042 \text{ Kg/hari}$$

$$= 1,070 \text{ Kg/hari}$$
- Sg lumpur = $\frac{Sg_{solid} \times Sg_{air}}{(\% \text{ solid} \times Sg_{air}) + (\% \text{ air} \times Sg_{solid})}$

$$= \frac{2,65 \times 1}{(12\% \times 1) + (88\% \times 2,69)}$$

$$= 1,08$$
- Debit lumpur = $\frac{\text{massa lumpur}}{p \text{ air} \times Sg \text{ lumpur} \times \% \text{solid}}$

Tabel 11.
Karakteristik Lumpur

Parameter	Satuan	Nilai
TSS	mg/L	120000-130000
BOD	mg/L	3300
COD	mg/L	7150
Amonia	mg/L	158
TN	mg/L	3,13%
Total Fosfor	mg/L	67250
VSS	mg/L	40000-50000
Coliform	MPN/100 mL	1400000

Tabel 12.
Alternatif Unit Dewatering

Media Filter	Ketebalan	Alternatif 1	Alternatif 2
Pasir	20 cm	diameter 0,2-0,6 mm	diameter 0,2-0,6 mm
Kerikil penyangga	20 cm	Diameter 2-3 cm	Diameter 2-3 cm
Geotekstil	6 cm	-	Geotekstil non woven 500 GSM
Geotekstil tambahan di atas pipa underdrain	1 cm ^d	-	Geotekstil non woven 500 GSM

$$= \frac{1,070 \text{ Kg/hari}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 1,08 \times 12\%}$$

$$= 0,008 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Sehingga berdasarkan perhitungan diatas didapatkan produksi lumpur kompartemen settler dan kompartemen ABR/ABF yang dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

D. Pemilihan Unit Dewatering

Pemilihan unit dewatering berdasarkan kemampuan penyisihan kontaminan, dan biaya konstruksi dan operasional. Selain itu, partisipasi masyarakat dipertimbangkan karena unit dewatering akan dibangun dengan skala kecil yang perawatan dan operasionalnya dilakukan oleh masyarakat sekitar. Karakteristik lumpur IPALD-T diambil dari karakteristik lumpur dari teknologi Anaerobic Baffled reactor (ABR) yang dapat dilihat pada Tabel 11 [8], [16]–[18].

Penambahan geotekstil merupakan alternatif yang dipertimbangkan pada perencanaan ini. Geotekstil mampu menurunkan organik dan *e.coli* pada air limbah dengan efektif. Selain itu pencucian media filter juga mudah sehingga tidak perlu menggunakan pembersihan *scrapping*. Pembersihan yang perlu dilakukan hanyalah mengalirkan air pada permukaan geotekstil yang penuh kotoran [6]. Apabila menggunakan media filter yaitu pasir atau kerikil maka pembersihan dengan cara *scrapping* perlu dilakukan apabila terjadi penyumbatan. Lapisan kotor pada media filter disekop sampai kedalaman minimum yang diizinkan. Selanjutnya, media filter dicuci di *sand washing place* [5]. Terdapat dua alternatif yang dipertimbangkan dalam perencanaan ini yang dapat dilihat pada Tabel 12 [9], [11], [13], [19].

Pada alternatif pertama diperoleh dari literature [8], tetapi tidak ada parameter yang belum tercantum pada literatur tersebut. Parameter yang tidak tercantum adalah TVS, TP, dan TN. Sehingga dilakukan pendekatan dengan literatur yang hampir sama. Pada reaktor dengan pasir berdiameter 0,2-0,6 mm dengan ketinggian 35 cm, dan lumpur setinggi 20 cm memiliki presentase removal TSS yang hampir sama dengan literatur yang diacu yaitu 97% [20]. Sedangkan presentase literatur yang diacu memiliki presentase removal

Tabel 13.
Karakteristik Lumpur

Parameter	removal (%)	Satuan	Effluent Filtrat
TSS	97,27%	mg/L	3553*
BOD	99,52%	mg/L	16
COD	99,63%	mg/L	26
Ammonium	97,27%	mg/L	4
TN	92,04%	mg/L	324
TP	97,75%	mg/L	1513
VSS	98,85%	mg/L	573
Coliform	99,43%	MPN/100 mL	80000*

Keterangan:

*Tidak memenuhi baku mutu

Tabel 14.

Parameter	Removal (%)	Nilai	Satuan
TSS	99,99%	13,00	mg/L
BOD	99,99%	0,33	mg/L
COD	99,99%	0,71	mg/L
Ammonium	99,99%	0,015800	mg/L
TN	98,04%	79,71	mg/L
TP	99,99%	6,72	Mg/L
VSS	99,99%	5	mg/L
Coliform	99,99%	1400,00	MPN/100 mL

Tabel 15.

Jadwal Pengurutan IPALD-T Cluster B			
Nama IPAL	Kompartemen	Waktu Pengurutan	Periode
Makmur Jaya	Settler	6 bulan	1 dan 5
Makmur Jaya	ABR	1 tahun	2
Telaga Abadi	Settler	1 tahun	3
Telaga Abadi	ABR	1 tahun	7
Higienis 2	Settler	2 tahun	4
Higienis 2	ABR	2 tahun	4
Grand Cep	Settler	2 tahun	6
Grand Cep	ABR	2 tahun	6
Sehat Sentosa	Settler	1 tahun	8
Sehat Sentosa	ABR	1 tahun	8

TSS sebesar 97,27% [8]. Nilai TN akan dibandingkan dengan ammonium, TVS dengan COD, dan TP dengan rasio C:N:P. berikut adalah perbandingan presentase penyisihan kontaminan pada TVS, TP, TN sebagai berikut:

Diketahui:

- Konsentrasi awal TN literatur = 2,8 g/L [12]
- Konsentrasi awal ammonia literatur = 1,2 g/L [12]
- Konsentrasi akhir TN literatur = 1,02 g/L [12]
- Konsentrasi akhir Ammonia literatur = 0,15 g/L [12]
- Konsentrasi awal ammonia alternatif = 186,134 mg/L [8]

Penyelesaian:

- Perhitungan perbandingan rasio TN dengan Ammonia

$$\bullet \text{ Rasio awal} = \frac{TN \text{ awal literature}}{Amonia \text{ awal literature}}$$

$$= \frac{2,8 \text{ g/L}}{1,2 \text{ g/L}}$$

$$= 2,33$$

- TN awal alternatif = Rasio awal x Amonia alternatif awal

$$= 2,33 \times 186,134 \text{ mg/L}$$

$$= 434,314 \text{ mg/L}$$

$$\bullet \text{ Rasio akhir} = \frac{TN \text{ akhir literature}}{Amonia \text{ akhir literature}}$$

$$= \frac{1,02 \text{ g/L}}{0,15 \text{ g/L}}$$

- $\text{TN awal alternatif akhir} = 6,8$
 $= \text{Rasio akhir} \times \text{Amonia alternatif}$
 $= 6,8 \times 5,084 \text{ mg/L}$
 $= 11,863 \text{ mg/L}$
 - $\% \text{penyisihan TN} = (\text{awal-akhir})/\text{awal}$
 $= (434,314 \text{ mg/L} - 11,863 \text{ mg/L})/434,314 \text{ mg/L}$
 $= 92,04\%$
 - Perbandingan rasio TVS dengan COD
 - $\text{Rasio awal} = \frac{18,4 \text{ g/L}}{14,8 \text{ g/L}}$
 $= 1,243$
 - $\text{TVS awal alternatif} = \text{Rasio awal} \times \text{COD alternatif awal}$
 $= 1,243 \times 23500 \text{ mg/L}$
 $= 29216,22 \text{ mg/L}$
 - $\text{Rasio akhir} = \frac{2,78 \text{ g/L}}{1,08 \text{ g/L}}$
 $= 2,574$
 - $\text{TVS akhir alternatif} = \text{Rasio akhir} \times \text{COD alternatif akhir}$
 $= 2,574 \times 130 \text{ mg/L}$
 $= 334,630 \text{ mg/L}$
 - $\% \text{penyisihan TVS} = (29216,22 \text{ mg/L} - 334,630 \text{ mg/L})/29216,22 \text{ mg/L}$
 $= 98,85\%$
- Perbandingan TP dibandingkan dengan rasio C:N:P tetapi nilai C tidak diketahui sehingga TP dibandingkan dengan nilai TN.
- $\text{Rasio awal} = \frac{2,8 \text{ g/L}}{0,3 \text{ g/L}}$
 $= 9,33$
 - $\text{TP awal alternatif} = \text{Rasio awal} \times \text{TN alternatif awal}$
 $= 9,33 \times 434 \text{ mg/L}$
 $= 46,55 \text{ mg/L}$
 - $\text{Rasio akhir} = \frac{1,02 \text{ g/L}}{0,09 \text{ g/L}}$
 $= 11,33$
 - $\text{TP akhir alternatif} = \text{Rasio akhir} \times \text{TN alternatif akhir}$
 $= 11,33 \times 11,86 \text{ mg/L}$
 $= 1,046 \text{ mg/L}$
 - $\% \text{penyisihan TVS} = (46,55 \text{ mg/L} - 1,046 \text{ mg/L})/46,55 \text{ mg/L}$
 $= 97,75\%$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh presentase penyisihan kontaminan pada setiap parameter yang dapat dilihat pada Tabel 13.

Literatur penyisihan kontaminan lumpur dengan geotekstil non-woven tidak terlalu banyak. Terdapat beberapa literatur yang memakai lumpur IPAM dan diberikan polimer. Penambahan polimer mengakibatkan literatur tersebut tidak dapat dijadikan acuan. Sehingga, menggunakan literatur penyisihan kontaminan menggunakan *slow sand filter*. Sedangkan untuk nilai BOD dan COD berhubungan dengan nilai TVS seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut adalah perhitungan nilai

- $\% \text{Removal TSS SSF} = 88,31\% [6]$

- $\% \text{Removal TSS SSF} + \text{Geotekstil} = 91,55\% [6]$
- $\% \text{removal TN SSF} = 21\% [9]$
- $\% \text{removal TN SSF} + \text{Geotekstil} = 27\% [9]$
- $\% \text{removal TP SSF} = 25\% [9]$
- $\% \text{removal TP SSF} + \text{Geotekstil} = 33\% [9]$
- $\% \text{removal } e.coli \text{ SSF} = 96,81\% [6]$
- $\% \text{removal } e.coli \text{ SSF} + \text{Geotekstil} = 99,38\% [6]$

Penyelesaian:

- $\text{Kenaikan } \% \text{ removal TSS} = 91,55\% - 88,31\%$
 $= 0,03$
- $\% \text{removal TSS} = \% \text{removal TSS SSC} + \text{kenaikan } \% \text{removal}$
 $= 97,27\% + 3\%$
 $= 100,51\% \approx 99,9\%$
- $\text{Kenaikan } \% \text{removal TN} = 27\% - 21\%$
 $= 6\%$
- $\% \text{removal TN} = 92,04\% + 6\%$
 $= 98,04\%$
- $\text{Kenaikan } \% \text{removal TP} = 33\% - 25\%$
 $= 8\%$
- $\% \text{removal TP} = 99,75\% + 8\%$
 $= 105,75\% \approx 99,9\%$
- Nilai kenaikan Ammonia, TVS, BOD, dan COD disamakan dengan kenaikan TN dikarenakan sama-sama meremoval C-organik pada proses nitrifikasi dan meremoval BOD pada denitrifikasi.
- Penurunan e.coli pada SSF dibandingkan dengan penurunan coliform lumpur. kenaikan removal e.coli dianggap sama dengan kenaikan removal pada coliform.
- $\text{Kenaikan } \% \text{removal } e.coli = 99,38\% - 96,81\%$
 $= 2,57\%$
- $\% \text{removal coliform} = 99,43\% + 2,57\%$
 $= 102\% \approx 99,9\%$

Berdasarkan perhitungan diatas berikut adalah penyisihan kontaminan pada tiap parameter yang dapat dilihat pada Tabel 14.

Berdasarkan dari kedua alternatif tersebut dipilih alternatif 2 dikarenakan effluent yang dihasilkan memenuhi baku mutu. Selain itu, unit dewatering dengan menggunakan geotekstil no-woven lebih mempermudah dalam perawatan.

E. Pengurasan Ideal IPAL

Pada pengurasan IPALD-T ideal dilakukan untuk mengetahui pengurasan yang efektif pada masing-masing IPAL. Pengurasan yang ideal didapatkan dari reduksi masing-masing IPALD-T pada setiap tahun akibat kegiatan mikroorganisme. Presentase volume lumpur dapat dilihat pada Gambar 1 [4].

Lumpur yang mengendap pada ruang lumpur akan dilakukan perhitungan presentase pengendapan lumpur pada ruang lumpur. ruang lumpur untuk settler dihitung 70% dan kompartemen ABR/ABF adalah 50% dari dimensi IPALD-T. Sehingga, pengurasan ideal di peroleh apabila presentase pengendapan lumpur maksimal 80%. Pengurasan ideal untuk karangmas adalah 3 tahun (settler) dan 4 tahun (ABR/ABF), Kauman Sehat 1 tahun (settler) dan 4 tahun (ABR/ABF), Tirta Agung 2 settler dan ABR/ABF 5 tahun, Grand Cep 3 tahun (settler) dan 5 tahun (ABR/ABF), Sehat sentosa 3 tahun (settler) dan 5 tahun (ABR/ABF), telaga Abadi settler dan ABR/ABF 3 tahun, Higienis 2 settler 3 tahun dan 5 tahun ABR/ABF, dan Makmur jaya 1 tahun (settler) dan 3 tahun (ABR/ABF).

F. Perencanaan Pengurasan IPALD-T Cluster B

Perencanaan pengurasan untuk cluster B dilakukan untuk IPALD-T yang tidak dapat dilewati oleh truk tinja. Hal tersebut dikarenakan lebar jalan pada IPALD-T cluster B yang hanya berjarak 1-2 m. Sedangkan lebar truk tinja di Kabupaten Gresik adalah 2,5 m. IPAL yang masuk pada cluster B adalah Grand Cep, Sehat Sentosa, telaga Abadi, Higienis 2, dan Makmur Jaya.

Sehingga, dilakukan pengurasan IPAL cluster B dengan menggunakan truk tinja merek Nozami dengan kapasitas tampung 800 L. Kapasitas motor yang kecil menyebabkan pengangkutan lumpur menuju unit dewatering akan membutuhkan waktu dan ritasi yang lama. Sehingga, perlunya perencanaan unit dewatering skala kecil yang berada disekitar lokasi IPAL. Penggunaan tandon berfungsi untuk mengganti dinding beton yang sering digunakan pada unit dewatering dengan bantuan sinar matahari. Sehingga, unit dewatering menggunakan tandon penguin dengan diameter 1050 mm (dengan ketebalan dinding 9 mm) dan ketinggian 1340 mm. Pada alternatif yang dipilih menggunakan ketinggian lumpur adalah 40 cm sehingga volume lumpur yang dapat ditampung adalah $0,335 \text{ m}^3$.

Jumlah lumpur yang terendapkan dalam ruang lumpur akan dilakukan penyesuaian dengan jumlah ritasi agar pengurasan dapat dilakukan dengan mudah. Produksi lumpur settler pada IPAL Makmur Jaya merupakan acuan dalam penentuan jumlah volume lumpur karena memiliki nilai paling besar. Volume lumpur yang terlalu besar mengakibatkan luas lahan yang diperlukan semakin besar. Pada IPAL Makmur Jaya settler waktu idela adalah 1 tahun sekali tetapi volume lumpur terlalu besar. Sehingga, direncanakan pengurasan makmur Jaya dilakukan selama 6 bulan. Volume endapan lumpur bulan ke-enam pada IPAL Makmur Jaya adalah $2,96 \text{ m}^3$. Sehingga, ritasi yang mendekati adalah 4 ritasi dengan jumlah tampung $2,4 \text{ m}^3$.

Lumpur akan terus terakumulasi karena terdapat sisa lumpur yang terus bertambah, sehingga ritasi ditambah 1 untuk jaga-jaga sehingga volume lumpur yang akan dikuras setiap kali pengurasan adalah $3,2 \text{ m}^3$. Perhitungan jumlah tandon yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah tandon} = \frac{\text{Volume pengurasan}}{\text{Volume tampung satu tandon}}$$

$$\text{Jumlah tandon} = \frac{3,2}{0,335} = 9,56 \text{ tandon} \approx 10 \text{ tandon}$$

Volume tersebut dapat digunakan untuk menampung lumpur dalam 1 periode pengurasan. Periode pengurasan perhitungan dianggap ideal, apabila dapat dilakukan pengolahan lumpur selama 5 tahun tanpa terjadi penambahan unit *dewatering*. Pengolahan lumpur dimulai pada bulan Januari 2021. Sehingga, berikut adalah contoh perhitungan lumpur settler IPAL Makmur Jaya pengurasan kedua:

Diketahui:

- Volume sisa lumpur = $0,556 \text{ m}^3$
- Volume produksi lumpur setiap 6 bulan = $3,227 \text{ m}^3$

Penyelesaian:

- Volume total lumpur = $3,227 \text{ m}^3 + 0,556 \text{ m}^3 = 3,649 \text{ m}^3$
- Volume lumpur akhir = $3,784 \text{ m}^3 \times 91,60\% = 3,466 \text{ m}^3$

- Sehingga dilakukan ritasi sebanyak 4 kali karena hasilnya mendekati volume lumpur pengurasan 4 kali
- Volume sisa lumpur = $3,466 \text{ m}^3 - 3,2 \text{ m}^3 = 0,266 \text{ (OK!)}$

Pengeringan lumpur dengan ketebalan 40 cm memerlukan waktu 31 hari untuk mencapai reduksi kadar air sebesar 33,826% [20]. Berikut adalah waktu pengeringan yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air 50%:

Diketahui:

- Kadar air lumpur = 88%
- Kadar air cake rencana = 50%
- Reduksi kadar air = 33,416% (31 hari)

Penyelesaian:

- Removal kadar air per hari = $33,416\% / 31 = 1,08\%$
- Target kadar air = $88\% \times (1 - (\text{waktu pengeringan} \times 1,08\%))$
- 50% = $88\% \times (1 - (\text{waktu pengeringan} \times 1,08\%))$
- Waktu pengeringan = $40,59 \approx 41 \text{ hari}$

Skenario pengurasan IPAL adalah membuka manhole, pembersihan sampah secara manual, pengadukan lumpur, dan penyedotan lumpur. Lokasi pengolahan lumpur berada di $7^\circ 9'23.18''\text{S}$ Lintang selatan dan $112^\circ 39'6.85''\text{E}$ bujur timur. Lokasi tersebut dipilih karena merupakan lahan milik pemerintah dan berada ditengah-tengah dari semua IPAL yang direncanakan. Jarak lokasi paling jauh dari lokasi pengolahan lumpur adalah IPAL Higienis 2 yaitu 1800 m. jarak tersebut digunakan sebagai acuan untuk mengetahui ritasi sebagai berikut:

Diketahui:

- Waktu jam kerja (H) = 8 jam
- Kecepatan motor = 20 km/jam
- Waktu penyedotan lumpur (s) = 60 menit
- Waktu tidak efektif (w) = 60 menit
- Waktu persiapan penyedotan (pc) = 15 menit
- Waktu persiapan meletakan lumpur (uc) = 15 menit
- Jarak pool-IPAL Higienis 2 = 1800 m

Penyelesaian:

- Haul time(h) = $(2 \times \text{jarak}) / \text{kecepatan motor} = (2 \times 1,8 \text{ km}) / 20 \text{ km/jam} = 0,18 \text{ jam} \times 60 \text{ menit} = 10,8 \text{ menit}$
- T_{HCS} adalah waktu operasi pengangkutan lumpur
 $T_{HCS} = pc + uc + h + s = 15 \text{ menit} + 15 \text{ menit} + 10,8 \text{ menit} + 60 \text{ menit} = 100,8 \text{ menit}$
- Waktu off-route (W) = $H/w = (8 \text{ jam} \times 60 \text{ menit}) / 60 \text{ menit} = 0,125$
- N_d merupakan untuk menentukan jumlah ritasi perhari yang dapat dilakukan.
 $N_d = (H \times (1 - W)) / T_{HCS} = ((8 \text{ jam} \times 60 \text{ menit}) \times (1 - 0,125)) / 100,8 \text{ menit} = 4,16 \text{ ritasi/hari} \approx 4 \text{ ritasi/hari}$

Berdasarkan perhitungan diatas ritasi maksimal yang didapatkan 4 ritasi/hari. Ritasi yang direncanakan pada setiap IPAL adalah maksimal 4 ritasi. Untuk mempermudah pengangkutan sehingga waktu pengisian direncanakan 2 ritasi/hari. Sehingga waktu total yang dibutuhkan adalah 45 hari dengan 2 hari pengurasan. Periode yang diperoleh dari

total waktu yang dibutuhkan adalah 8 periode. Periode 1 (1 Januari–14 Februari), Periode 2 (14 Februari – 31 Maret), Periode 3 (1 April – 15 Mei), Periode 4 (16 Mei–29 Juni), Periode 5 (30 Juni–13 Agustus), Periode 6 (14 Agustus–27 September), Periode 7 (28 September–11 November), dan Periode 8 (11 November–26 Desember) yang dapat dilihat pada Tabel 15.

G. Perencanaan Unit Dewatering

Pada unit dewatering terdapat perencanaan bak penampung filtrat dan unit dewatering. Berikut adalah perhitungan bak penampung filtrat:

Diketahui:

- Diameter tandon = 1050 mm
- Ketebalan dinding = 9 cm
- H lumpur rencana = 40 cm
- %kadar air awal = 88%
- %kadar air akhir = 50%

Penyelesaian:

- Diameter dalam = $1050 \text{ mm} - (9 \text{ mm} \times 2 \text{ mm})$
= 1032 mm
= 103,2 cm
- Volume lumpur = $\pi \times r^2 \times H \text{ lumpur}$
= $\pi \times 10,32^2 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$
= 334721 cm^3
= $0,335 \text{ m}^3$
- %kadar air akhir = 50%
- Volume cake = $(\text{Volume masuk} \times (1 - \text{kadar air awal})) / (1 - \text{persen kadar air akhir})$
= $(0,335 \text{ m}^3 \times (188\%)) / (150\%)$
= $0,08 \text{ m}^3$
- Volume Filtrat = $\text{Volume awal} - \text{volume cake}$
= $0,335 \text{ m}^3 - 0,08 \text{ m}^3$
= $0,25 \text{ m}^3$
- Panjang rencana = diameter tandon
= 103,2 cm \approx 100 cm
- Perencanaan P:L = 2:1 sehingga perhitungan lebar sebagai berikut:
 - Lebar bak penampung filtrat = $100 \text{ cm} / 2$
= 50 cm
- Luas alas = 100×50
= 5000 cm
- Tinggi = $\text{Volume filtrat} / \text{Luas alas}$
= $250000 \text{ cm}^3 / 5000 \text{ cm}$
= 50,8 cm \approx 51 cm
- Freeboard = 19 cm
- H total = 51 cm + 19 cm
= 70 cm

Pada bak penampung filtrat akan dilapisi terpal waterproof. Sehingga filtrat tidak kontak langsung dengan lingkungan. Kemudian direncanakan pipa orifice. Debit filtrat sangatlah kecil sehingga menggunakan d/D adalah 0,5 dengan diperoleh $V_{\text{min}}/V_{\text{full}}$ adalah 1 berdasarkan grafik pipa air limbah. Sehingga menggunakan pipa filtrat Maspion tipe B dengan diameter 110 cm. Diperoleh selisih tinggi pipa adalah 0,3 cm maka diperlukan penambahan kerikil setinggi 0,3 cm agar unit dewatering tetap seimbang. Sehingga, diperoleh tinggi total unit dewatering adalah 105 cm dengan freeboard 6,7 cm. Pada pipa underdrain diperlukan perhitungan jumlah orifice pada pipa. Orifice berfungsi untuk tempat masuknya filtrat ke pipa underdrain. Pipa underdrain yang digunakan kecil sehingga menggunakan jarak antar lubang yang lebih

kecil. Jarak lubang rencana direncanakan 2 cm dengan diameter lubang. Sehingga diperoleh lubang horizontal adalah 40 buah dan vertikal 6 buah. Sehingga total lubang adalah 240 buah.

Kemudian dilakukan perhitungan kemiringan pipa direncanakan adalah 1%. Pada penyangga pipa digunakan batu bata beton dengan kayu 1 cm untuk sisi miring penyangga. Pada unit dewatering kemiringan penyangga pipa terbuat oleh kayu 1 cm.

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan adalah: (1) Kriteria desain unit dewatering dari berbagai literatur adalah tinggi lumpur berkisar 20-40 cm, ketebalan media filter geotekstil non woven 1-6 cm dengan jenis PP dan PET (continuous filament dan Staple fibre dengan berat 150-500 GSM), media filter pasir diameter 0,2-0,6 mm setinggi 20-30 cm, dan kerikil penyangga diameter 2-3 cm setinggi 20-30 cm; (2) Alternatif dewatering yang dipilih adalah lumpur setinggi 40 cm, geotekstil non-woven setinggi 6 cm, pasir diameter 0,2-0,6 mm setinggi 20 cm, kerikil penyangga diameter 2-3 cm setinggi 20 cm, dan geotekstil non-woven setinggi 1 cm. Unit dewatering menggunakan tandon berdiameter 103,2 cm dengan ketinggian 100 cm. Pipa underdrain yang digunakan memiliki diameter 110 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Abay, A. Yulianto, and S. Rahmawati, "Evaluasi Pengangkutan Lumpur Tinja Layanan Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta," *Univ. Islam Indones. Yogyakarta*, 2018.
- [2] D. Susanthi, M. Y. Purwanto, and S. Suprihatin, "Evaluasi pengolahan air limbah domestik dengan IPAL komunal di Kota Bogor," *J. Teknol. Lingkungan*, vol. 19, no. 2, pp. 229–238, 2018.
- [3] S. Getahun, S. Septien, J. Mata, T. Somorin, I. Mabbett, and C. Buckley, "Drying characteristics of faecal sludge from different on-site sanitation facilities," *J. Environ. Manage.*, vol. 261, p. 110267, 2020.
- [4] M. W. R. Pratami, "Perencanaan sistem pengolahan lumpur IPA Pejompongan I dan II Jakarta," Thesis Research, Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- [5] G. H. Cahyana, "Inovasi Sistem Penyediaan Air Minum Berbasis Teknologi Tepat Guna Untuk Pesantren," *Univ. Kebangsaan, Bandung*, 2018.
- [6] A. A. D. Hendrayani, N. N. Fitriani, and W. W. Hadi, "Pengaruh ketebalan media geotekstil dan arah aliran terhadap penyisihan kekeruhan dan total coli pada slow sand filter rangkaian seri," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 1, pp. D21–D25, 2014.
- [7] G. D. Mega and W. Herumurti, "Evaluasi kinerja instalasi pengolahan lumpur tinja (iplt) keputih, surabaya," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i1.15035.
- [8] D. Wulandari, "Pemisahan Padatan Lumpur Tinja pada Unit Solid Separation Chamber (SSC)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [9] A. A. Ayuningtyas, N. N. Fitriani, and W. W. Hadi, "Pengaruh ketebalan media geotextile dan arah aliran slow sand filter rangkaian seri untuk menyisihkan P Total dan N Total," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 1, pp. D26–D29, 2014.
- [10] P. R. Dini, N. Fitriani, and W. Hadi, "Pengaruh penambahan geotekstil pada unit slow sand filter untuk mengolah air siap minum," *Pros. Semin. Nas. Manaj. Teknol. XVIII Progr. Stud. MMT-Institut Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- [11] H. U. Revathi and S. Murthy, "Treatment of domestic wastewater using geotextile as a filter media," *International Res. J. Eng. Technol.* 3(07) 2395-0056 Karnataka, India, 2016.
- [12] A. H. Aydılek and T. B. Edil, "Long-term filtration performance of nonwoven geotextile-sludge systems," *Geosynth. Int.*, vol. 10, no. 4, pp. 110–123, 2003.
- [13] M. P. Umum, "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 12," Jakarta, 2015.
- [14] G. J. T. Mulia, "Evaluasi Pengelolaan IPAL omunal di Kabupaten Gresik," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.

- [15] G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, F. L. Burton, and Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering : Treatment and Resource Recovery*, 5th ed, re. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2014.
- [16] N. Reynaud and C. Buckley, "Field-data on parameters relevant for design, operation and monitoring of communal decentralized wastewater treatment systems (DEWATS)," *Water Pract. Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 787–798, 2015.
- [17] S. Singh, R. Haberl, O. Moog, R. R. Shrestha, P. Shrestha, and R. Shrestha, "Performance of an anaerobic baffled reactor and hybrid constructed wetland treating high-strength wastewater in Nepal—A model for DEWATS," *Ecol. Eng.*, vol. 35, no. 5, pp. 654–660, 2009.
- [18] A. A. Zorpas, C. Coumi, M. Drtil, and I. Voukalli, "Municipal sewage sludge characteristics and waste water treatment plant effectiveness under warm climate conditions," *Desalin. Water Treat.*, vol. 36, no. 1–3, pp. 319–333, 2011.
- [19] B. Gutterer, A. Ulrich, S. Reuter, and E. Water, *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries : A Practical Guide*. Water Engineering and Development Centre (WEDC), Loughborough University, 2009.
- [20] M. Manga, B. E. Evans, M. A. Camargo-Valero, and N. J. Horan, "Effect of filter media thickness on the performance of sand drying beds used for faecal sludge management," *Water Sci. Technol.*, vol. 74, no. 12, pp. 2795–2806, 2016.